

サンゴ礁生態系の物質循環におけるサンゴ粘液の役割 The role of coral mucus in the material cycle in reef ecosystems

中嶋 亮太^{1*}
NAKAJIMA, Ryota^{1*}

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野
¹ Department of Marine Biodiversity Research, JAMSTEC

造礁サンゴが透明で粘性のある有機物（サンゴ粘液）を海水中に分泌することは古くから良く知られてきた。この粘液はサンゴの生育に欠かせない生理的機能に関与しており、例えばストレスに対する防御や餌の捕獲、細胞内の代謝調節など、様々な理由から分泌される。粘液の化学成分は糖質、タンパク質、脂質などから成り、海水中に放出されると大部分は溶存態有機物として従属栄養細菌に利用されながら微生物ループに取り込まれていく。一方、高分子の粒状有機物はその粘性ゆえ、海水中の粒子を次々に捕捉しながらサイズを増大させ、効率良く高次の栄養段階に取り込まれる。このように、サンゴ粘液は多様な経路でサンゴ礁の生物群集に取り込まれていき、生態系の物質循環を構成する上でなくてはならない有機物エネルギーとして機能している。本発表では造礁サンゴが放出する粘液の形や化学組成、生産速度、物質循環、従属栄養生物群集に対する役割などについて紹介し、サンゴ粘液の重要性について生物地球化学的・生態学的観点からまとめる。さらに気候変動や人間活動による生態系の衰退（サンゴの消失）によってサンゴ礁の生物地球化学的プロセスと機能が失われる可能性について述べる。

キーワード: 造礁サンゴ, 粘液, 褐虫藻, 細菌分解, 粒子捕捉, 食物網

Keywords: Scleractinian corals, mucus, zooxanthellae, bacterial degradation, particle trap, trophic structure

那覇市埋立地下の堆積物コアを用いた人為影響下におけるサンゴ礁環境の長期変遷 Reef environmental changes under anthropogenic influences: sediment cores beneath the reclaimed areas of Naha City

藤田 和彦^{1*}; 本郷 宙軌¹; 川崎 裕子¹; 嶺井 翔伍¹; 佐々木 徹¹
FUJITA, Kazuhiko^{1*}; HONGO, Chuki¹; KAWASAKI, Yuko¹; MINEI, Shogo¹; SASAKI, Toru¹

¹ 琉球大学理学部物質地球科学科

¹ Fac. Sci. Univ. Ryukyus

Coral reef ecosystems are now being threatened by global environmental changes and human impacts. However, it is still argued that when and how increasing human populations historically affect coral reef ecosystems. This is because limited studies have been conducted on long-term environmental and ecological changes in coral reefs. In this study, we examined the geochemistry and micropaleontology of sediment cores drilled from the reclaimed areas of Naha City (Okinawa Prefecture, Japan), where pristine coral reefs had been reclaimed. 10-m deep cores with a recovery of >90% were obtained from six sites in coastal reclaimed areas of Naha City. In order to determine the timing and impacts of anthropogenic influences (e.g., terrigenous inputs and human activity), major elements ratio (e.g., SiO₂/CaO) was measured by EDX (XRF), and mineral compositions (quartz/carbonates) were determined by XRD. To reveal long-term reef environmental changes, grain-size compositions, and the taxonomic composition and abundance of foraminiferal assemblages were analyzed. Results showed that Holocene sediments with several meters in thickness cover the Pleistocene limestone (the Ryukyu Group), and are overlain by landfill sediments and soils. The Holocene cores consist mainly of bioclastic carbonate sand and mud with *in situ* corals and coral gravels, and increasingly contain terrigenous siliciclasts in the upper part of cores. Radiocarbon ages of fossil *in situ* corals and molluscs indicate that coral reefs developed at least 7-6 ka in offshore areas, and at ca. 5-4 ka in inshore areas, and that some cores may record historical changes in terrigenous sediment inputs into coral reef environments, starting from periods of Gusuku and Ryukyu Kingdom.

石垣島轟川河口の土地改良事業と低下したハマサンゴ骨格成長量の関連性
Linkage between the declines in *Porites* coral skeletal growth and a land improvement project on Ishigaki Island, Japan.

岨 康輝^{1*}; 渡邊 剛²; 山野 博哉³; 林 誠二³

SOWA, Kohki^{1*}; WATANABE, Tsuyoshi²; YAMANO, Hiroya³; HAYASHI, Seiji³

¹ 東邦大学 理学部 化学科, ² 北海道大学大学院 理学研究院, ³ 国立環境研究所

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Toho University, ²Faculty of Science, Hokkaido University, ³National Institute for Environmental Studies

Recent anthropogenic pollution has adversely impacted the physiology of reef-building corals. However, insufficient empirical data on the relationship between coral skeletal growth (calcification rate and skeletal density) and the degree of anthropogenic pollution are available. We conducted an analysis of *Porites* coral growth (N = 6) in the Shiraho Reef at the mouth of the Todoroki River on Ishigaki Island, Japan, over the 52 years from 1958 to 2009. Declines in calcification and skeletal density with no obvious sign of growth cessation or disease occurred in the 1970s-1980s, which coincided with the start of the public land improvement project on Ishigaki Island. The median calcification and skeletal density values were lower after the 1970s-1980s than those before the 1970s-1980s, and these differences were correlated with the degree and type of land use and development. Thus, the nutrient/sediment loads from the Todoroki River, which were related to the degree and type of land use and development, resulted in decreased calcification and skeletal density in the coral. The coral growth after the 1970s-1980s was not related to thermal stress. After the 1970s-1980s, the relationship between coral growth and environmental factors changed, which suggested that the coral physiological responses observed in the 1970s-1980s were related to the land improvement project.

Keywords: coral calcification, coral skeletal density, land improvement project

フィリピン・ボリナオ沿岸海域における養殖活動に伴う局所的海洋酸性化 Local Ocean Acidification Caused by Mariculture Activities in Coastal Areas of Bolinao, Northwestern Philippine

渡邊 敦^{1*}; 宮島 利宏²; 栗原 晴子³; McGlone Maria Lourdes S.D.⁴; Herrera Eugene⁵; 灘岡 和夫¹
WATANABE, Atsushi^{1*}; MIYAJIMA, Toshihiro²; KURIHARA, Haruko³; MCGLONE, Maria lourdes s.d.⁴;
HERRERA, Eugene⁵; NADAOKA, Kazuo¹

¹ 東京工業大学 大学院情報理工学研究科, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 琉球大学理学部, ⁴ フィリピン大学ディリマン校 MSI, ⁵ フィリピン大学ディリマン校工学部

¹Tokyo Institute of Technology, ²AORI, University of Tokyo, ³Faculty of Science, University of the Ryukyus, ⁴Marine Science Institute, University of the Philippines-Diliman, ⁵College of Engineering, University of the Philippines-Diliman, Philippines

人為起源二酸化炭素 (CO₂) の排出に伴う海洋酸性化は、外洋域における pH や pCO₂ といった炭酸系パラメータの長期的変化を引き起こす主要因である。ところが沿岸海域では局所的・地域的要因が人為起源 CO₂ の増加に重畳する形で作用し、海水中の pH をはじめとする炭酸系を複雑に変化させていると考えられる。沿岸生態系内での高い生産性自体も炭酸系を変化させる。熱帯沿岸海域は、沿岸人口の増加に伴い養殖地としての利活用も増加することが見込まれ、同時に環境劣化が懸念されている。こうした環境劣化が周辺海域の局所的酸性化に与える影響は、ほとんど調べられていないのが現状である。そこで本研究では、フィリピン・ボリナオ沿岸域での養殖活動と生態系生産が、局所的な炭酸系動態に及ぼす影響を調べた。

2011年3月(乾季)および9月(雨季)に、ボリナオの養殖地域およびサンゴ礁域において、海水中の pH や二酸化炭素分圧 (pCO₂) の24時間観測を実施した。養殖地域は狭い海峡部に位置し、ここに数百の養殖生簀が立地している。サンゴ礁域は浅い海草藻場になっており、外洋に面している。2012年9月(雨季)および2013年3月(乾季)には、養殖地域およびサンゴ礁域において空間的な炭酸系分布も計測した。更に長期的トレンドを観測するため、乾季の2014年3月7日-5月21日および雨季の2014年9月28日-12月6日に養殖地域およびサンゴ礁域に pH ロガーを設置した(ただし乾季の養殖地域での観測はセンサー破損のため5月4日で終了した)。なおボリナオでは乾季には養殖地域、サンゴ礁域ともに塩分が33程度と外洋と同程度の値を示すが、雨季には全域で塩分が20程度まで低下する。

24時間観測から、サンゴ礁域の pH (pCO₂) は雨季、乾季共に外洋の値と比べて有意に増加(減少)していた。一方、養殖地域の pH (pCO₂) は外洋と同程度から低い(高い)値を示した。長期的に設置した pH ロガー観測から、養殖地域は外洋と比べて有意に低い値を示し、時折 pH が7.5まで減少した。一方、サンゴ礁域では pH が7.6-8.5まで大きな日周変動を示した。日中の pH 変動幅は養殖地域で0.2-0.3程度であったが、サンゴ礁域では0.5かそれ以上であった。これらの結果から、養殖地域は局所的な海洋酸性化傾向を示すことが示された。またサンゴ礁域の海草藻場は、高い一次生産により海洋酸性化に対する緩和効果を持つ可能性が示唆された。

キーワード: 海洋酸性化, pH, 養殖, 海草藻場

Keywords: Ocean acidification, pH, Mariculture, Seagrass meadow

サンゴの環境変化に対する応答を評価・予測するためのリーフスケールモデリングシステム Reef-scale modeling system for evaluating and predicting coral responses to future environmental changes

中村 隆志^{1*}; 灘岡 和夫¹; 渡邊 敦¹; 山本 高大¹
NAKAMURA, Takashi^{1*}; NADAOKA, Kazuo¹; WATANABE, Atsushi¹; YAMAMOTO, Takahiro¹

¹ 東京工業大学大学院情報理工
¹Tokyo Institute of Technology

Coral reefs exhibit significant spatiotemporal variations in temperature, CO₂ system parameters (dissolved inorganic carbon, total alkalinity, pH, CaCO₃ saturation state, etc.), flow field, etc. Therefore it is difficult to regard any coral incubation experiments as those simulating actual environmental conditions, because many experiments are conducted under steady or gradually changing environmental conditions. Reconstruction of reef environments by numerical hydrodynamic simulations is getting close to practical use level with the developments in computer simulation technology (e.g., Watanabe et al. 2013). Development of a sophisticated coral-response model coupled with a reef-scale hydrodynamic model is an effective approach for evaluating and predicting reef responses to the changes in various environmental conditions. For this purpose, we recently developed a coral polyp model (Nakamura et al. 2013), which can well reconstruct the coral responses to ocean acidification, flow conditions and others. We then incorporated it into a reef-scale model based on a 3D hydrodynamic model (ROMS) following the Carbonate System Dynamics (CSD) model (Watanabe et al. 2013). The developed model system was applied to the Shiraho fringing reef, Ishigaki Island, Japan, and it was confirmed that the model system well reconstructed the spatiotemporal variations of the reef environmental parameters. According to IPCC (2013), pCO₂ will reach at ca. 935 μatm and sea-level will rise to ca. 0.45-0.82 cm for late 21st century if we select the RCP8.5 scenario. Therefore we analyzed four different scenarios: (1) present condition, (2) high pCO₂ (~935 μatm) condition, (3) high sea-level condition (63 cm higher than present), and (4) high pCO₂ and high sea-level condition. The simulation result of high-pCO₂ condition indicated that the coral calcification rate will decrease to ca. 75% from the present condition. When the sea-level will be 63 cm higher than the present condition, the calcification will increase to ca. 107% because both the mass exchange between the corals and their ambient sea water and that between inside and outside of the reef will be enhanced due to higher flow condition. When both pCO₂ increase and sea-level rise will occur, the calcification rate will decrease to ca. 77%. This rate is lower than the present condition but it keeps higher than the case only with high-pCO₂ effect. The results imply that comprehensive evaluation of concurrent multiple environmental effects is important for future predictions.

キーワード: サンゴポリプモデル, サンゴ礁スケール, 数値シミュレーション, 海洋酸性化, 海水準上昇
Keywords: coral polyp model, reef scale, numerical simulation, ocean acidification, sea-level rise

気候変動と人間活動による熱帯沿岸生態系の劣化：景観の連環性を介した影響 Deterioration of tropical coastal ecosystems by multiple human impacts: the effects through seascape connectivity

仲岡 雅裕^{1*}

NAKAOKA, Masahiro^{1*}

¹ 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所

¹ Akkeshi Marine Station, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University

熱帯の沿岸生態系では、マングローブ、海草藻場、サンゴ礁などの異なる景観がモザイク状に分布している。このような景観の多様性と連続性は、沿岸の生態系機能や生態系サービスに重要な影響を与えていることが近年の研究で明らかになってきた。特に、マングローブや海草藻場をもたらす生態系サービスは、金銭価値に換算すると、サンゴ礁の数倍になるとの試算もある。しかし、サンゴ礁を対象とした研究に対して、他の景観の研究例は圧倒的に少ないのが現状である。熱帯沿岸生態系の統合的理解に向けて、サンゴ礁とサンゴ礁以外の景観の連環 (reef connectivity) に関する研究が一層求められている。本講演では、著者らがこれまでに、沖縄、タイ、フィリピンなどで進めた研究成果を元に、沿岸景観の連環が生物多様性や生態系機能に与える影響について解説すると共に、現在進行中の気候変動および局所的な人間活動による負荷により、沿岸生態系が景観の連環を介してどのように変化するかを推察し、それに対する保全策（適応策）を考えてみたい。

マングローブ、海草藻場、サンゴ礁間の連環に関して最も研究が展開されているのは、栄養塩や懸濁粒子などの微細物質の輸送を介した相互作用についてであろう。例えば安定同位体を用いた研究では、海草藻場やサンゴ礁に生息する生物の主要な炭素源が、マングローブ域やさらにその上流の陸域から供給されている例が報告されている。また、背後の集水域の大きさが異なる複数の海草藻場を広域的に比較した研究からは、陸域からの懸濁物等の流入が、海草藻場の種多様性や生物量、およびその安定性などのさまざまな生態系機能に大きく影響していることが明らかになってきた。

沿岸景観の連環に関しては、動物、とくに移動能力の高い大型の魚類や鳥類、哺乳類等が果たす役割も重要である。魚類の目視観測調査や、近年技術的開発が進んでいる音響テレメトリーを用いた研究から、サンゴ礁域の主要水産有用魚種が、成長に応じて、マングローブから海草藻場、サンゴ礁へと生息域を変えること、また、大型の個体が、昼夜でこれらの景観の間を頻りに移動することなどが確かめられた。このような大型動物の動態は、場合によっては海草やサンゴなどの基盤種の種構成や生物量の変動も引き起こすため、物質循環にも大きな影響を与えていると思われるが、その定量的評価は今後の課題である。

このような沿岸景観の連環をもたらす生態系機能は、気候変動および局所的な人為活動によりさまざまな負の影響を受けていると考えられる。個別のプロセスの影響については各地で研究が進むところであるが、特に深刻なのは、気候変動と局所的な人為活動の相乗的な負の効果である。例えば、海面上昇と沿岸浅海域の開発は、マングローブや潮間帯の藻場を著しく減衰させると予想される。また、土地利用の変化（例えば、マングローブの養殖池への変換）は、沿岸生態系の防災機能を失わせて、近年巨大化が著しい台風による沿岸生態系の攪乱、さらには沿岸地域社会への被害を増大させることが懸念される。

人為的影響の深刻化に対しては、健全な連環性をもった沿岸生態系の保全を進めることが何よりも必要である。例えば、海洋保護区を設定するときには、マングローブ、海草藻場、サンゴ礁が連続的に保護されるようなデザインを考慮することが有効である。また、既に消失した自然景観については、マングローブや海草藻場、サンゴ礁などの人工的な再生事業も有効な適応策となりうる。しかし現状では、正しい生物学的知識に基づかない再生事業も多くみられ（例えば、前浜の海草藻場にマングローブを植えるような再生事業）、それらについては、費用対効果の面で無駄なだけでなく、健全で機能の高い沿岸生態系を回復させるうえでも負の影響を与えかねない。これらの解決に向けては、再生協議会などを通じた、各種ステークホルダーと専門家（科学者）との有効な連携が求められる。

キーワード: 沿岸生態系, 景観, 生態系間の相互作用, 生物多様性, 気候変動, 人間活動

Keywords: coastal ecosystem, seascape, ecosystem connectivity, biodiversity, climate change, human impact